交互自然性的心理结构及其影响*

曹剑琴[1,2]，张警吁[1,2*]，张亮[1,2]，王晓宇[1,2]

([1]中国科学院行为科学重点实验室，北京，100101) ([2]中国科学院大学心理学系，北京 100049)

摘 要 本文通过三个研究探究了交互自然性的心理结构及其影响。研究 1 通过开展字典检索，文献回顾和专家访谈，得到了包含有 9 个条目的初始量表。研究 2 问卷调查了 353 名智能网联汽车用户，探索性因素分析发现了两因素结构（“通达舒畅”和“随境应人”）。后续分析表明这两个因素对满意度等关键校标有显著独特的预测作用。研究 3 使用新样本 (n = 349) 验证了双因素模型的稳定性，还发现这两个交互自然性体验维度对推荐意愿、忠诚感等重要变量也有显著预测作用，此外还发现，通达舒畅更多受到基本驾驶辅助系统等功能的影响，而随境引人更多受到交互和智能相关功能的影响。本文进一步讨论了该量表如何用于未来的人机交互研究。

关键词 交互自然性，智能网联汽车，心理结构，可用性

1 引言

人机交互经历了从依赖键盘输入的命令行界面，到大量使用鼠标的图形界面，再到当前多种新型交互方式（如手势交互、语音交互、体感交互、智能交互等）的转变。对于这些似乎更接近于人类天生本能的交互方式，产业界和人机交互的学者往往直接称之为自然人机交互，而使用这种方式进行交互的界面，通常被称之为自然用户界面（Natural User Interface, NUI）。

但是，所谓的自然交互一定自然吗？Norman (2010)对此的答案是否定的，他认为所谓的自然交互并不一定自然。以有望成为未来重要交互方式的手势交互为例，相较于传统的键盘鼠标，手势交互能提供更全面、更人性化的互动，但是，大多数手势既不是天生就会的，也不容易学习和记忆(Grandhi et al., 2011)。与手势一样，语音交互或者体感交互，也需要通过特别的身体活动来表明交互意图(Hsiao, 2017)。在这个过程中，良好的设计的交互界面和设计不好的界面之间的差异巨大，进而影响控制感(Verberne et al., 2012)、便捷感(Kamide et al., 2012; Li & Yeh, 2010; Zhou, 2011)，甚至是愉悦感(Norman & Nielsen, 2010)。除了使用上的体验差异，还可能影响用户对其购买意愿(Moons & De, 2015)、忠诚度和推荐意愿(Black et al., 2015; Grandhi et al., 2011; Rajendran & Jayakrishnan, 2018)。

可以看到，在上述进行的讨论中，自然人机交互中的“自然”，指向的是采用了某种“自

收稿日期：2021-06-07

* 科技部重点研发计划[2016YFB1001203]和自然科学基金面上项目[52072406 和 31671148]资助。

通讯作者：张警吁，E-mail: zhangjingyu@psych.ac.cn.

发的”，“直觉性的”特定新型交互方式(Grandhi et al., 2011)。在区分交互系统是否自然时，关键在于系统是否能缩短用户的学习时间，减少心理负荷和增加更愉快的情绪体验(张警吁，张亮, 2018)。为了达到这样的标准，在人与设备进行信息交换时，交互过程应该符合人的信息加工模型的规律。具体来讲，在“输入”时，不同交互模态应符合基本的知觉组织原则，以用户已有的知识表征为基础，合理引导用户的注意分配；在“输出”时，应提供给用户及时的反馈和告警，交互界面需考虑整个交互过程中用户信息加工的动态变化，调整系统模型与用户心理模型相匹配。也就是说，用户通过自然的交互通道进行输入和输出时，不仅要关注交互模态本身的接口融合机理，还要提高界面与记忆决策的相容性，实现并优化情景-心理-信道相匹配的交互路径(史元春, 2018)。因此，在评估“这个交互体验是否自然”的时候，不再局限于特定产品、交互方式和界面特征，而转向以人为中心的体验，即用户在使用产品、与界面进行交互时是否感到自然(Jain et al., 2011; Wigdor & Wixon, 2011)，以及系统是否符合上述提到的自然交互的认知机理，对此我们可以称之为感知到的自然性或者自然体验。随着新型交互技术的快速发展，新的开发标准和相应的评估方法也越来越重要(Norman, 2010)，感知到的自然性或者自然体验应该成为自然人机交互的重要评估内容。

然而究竟如何评估感知到的自然性程度呢？实际上，大多数研究使用传统的“可用性”维度来衡量自然交互方式的体验(Agarwal et al., 2013; Bailey et al., 2018; Bassano et al., 2020; Falcao et al., 2015; Kharoub et al., 2019; Vallejo et al., 2016; Villaroman et al., 2011)，比如传统的图形交互中重视的可见性(Chuah et al., 2016)、可用性(Brooke, 1996)、易用性(Kamide et al., 2012; Li & Yeh, 2010; Zhou, 2011)、流畅性(Hsiao, 2017)、易学性(Brooke, 1996; Lewis, 1992; Norman & Nielsen, 2010; Roupe et al., 2014)、愉悦感(Urakami et al., 2020)以及跨情景的一致性(Biever et al., 2020; Liljamo et al., 2018)等其他传统可用性维度来“对应”感知到的自然性。但是，使用这些传统的可用性标准，是否就等价于自然性？首先，从可用性概念本身出发，可用性更多的衡量用户能否让产品工作这一基础特征，一般包含了有效性、满意度和高效三个维度(Kortum & Bangor, 2013)。如果自然性简单的等于可用性，那么很多超出产品可用以外的特质无法被测量。再者，Norman (2010)认为可用性可能只是自然性体验的一个前提，没有可用性肯定谈不上自然，但是否充分可用也不一定就自然。更进一步地，自然性是否这些特性的加总吗？对这个问题，现有研究无法回答。

亦有研究开始初步探讨直接对自然性进行测量，如 Almeida 等人(2019)在测量沉浸现实的电子手套的体验时，使用一个单独条目来测量自然性，即“你认为虚拟现实环境的交互有多自然?”，结果发现行动更自由，可用性高，更有沉浸感的手套自然性体验更佳。也有测量手势传感器的研究得到结论认为流畅性是影响自然体验的关键因素(Hsiao, 2017)。也有研究者以用户为中心的方法确定常见计算机操作的自然手势和标准化自然手势词汇库(Bailey & Johnson, 2020)，在评估手势自然时，选择了从“完全任意”到“完全自然”的 6 点评分方式。在语音交互中，有研究者在测量聊天机器人时使用用户是否能感知聊天机器人的“人性化”来判

定交互是否自然(Atiyah et al., 2019)，结果显示人性化得分高的聊天机器人，用户在自然性体验上的打分更高。同样测量语音交互的还有 Urakami 等人(2020)使用愉悦感对语音自然性进行测量。

采用"自然的"或某种"自然的"的同义词来测量感知到的自然性，当然是一件非常直接的方式。但用单条目进行测量，即便仅从测量学的角度来说，也并非是一个可靠的测量方法。同时，不同个体对交互中自然性体验可能很难以有统一的理解，这就造成了在不同的问题上测量的内容实际上南辕北辙的可能性。更重要的问题在于，这些研究仍然未能回答最为核心的问题：作为用户而言，什么是自然的交互，它包括哪些成分？是否存在稳定的结构？如果有这样一种结构的话，不同的成分是否会产生不同作用？要回答这些问题，必须以系统的方式来探讨交互自然性这一心理构念的结构组成和作用机制。

为了填补这一空白，本研究试图通过系统的心理测量学方法，构建起交互自然性体验的概念框架并予以验证。主要包括三个步骤：一、研究一将采用质性研究方法，结合字典检索，文献总结和专家访谈等方式建立全面而具有代表性的交互自然性的条目集，对交互自然性可能所包含的概念网络予以明确；二、在研究一得到的条目基础上，研究二将采用定量研究的方法，考察这些条目所形成的因素结构，并结合智能网联汽车的体验和关键消费行为的关联进行效度验证。选择智能网联汽车作为第一个验证对象，是因为这类新型汽车是交互自然的重要应用场景，代表着交互自然的发展方向(Brunswicker & Chesbrough, 2018; Kuang et al., 2019; Pütz et al., 2019; Xu, 2019; Zhou et al., 2020)。三、研究三将使用新的样本与更多的校标变量对上述研究发现进行进一步验证，以保证所开发的测量工具的结构有可靠性、有效性和独特性。

2 研究 1：基于质性研究的交互自然性量表开发

2.1 研究目的

通过质性研究，建立全面而有代表性的交互自然性的条目库。

2.2 研究方法

2.2.1 字典释义检索

首先从不同的词语释义了解交互自然性的多种构念的可能性。在常用的英语词典中搜索自然性不同的词根，如"nature, naturality, natural, naturally"，使用的英语词典为牛津高阶英语词典第四版，韦氏词典第三版，维基百科。在中文词典(即现代汉语词典第七版)中搜索"自然，自然的，自然地"。

2.2.2 文献回顾与总结

在谷歌学术、Web of Science 中搜索 1990–2021 年交互自然性相关的文献，检索关键词为[nature (OR) Human-computer interaction], [natural (OR) user interface], [natural interaction], ,

[naturalness (OR) interactive scale]，检索得到 287 篇文献，专家推荐文献 5 篇。组成待筛选文献库 292 篇，根据标题和摘要删除 105 篇，全文阅读 187 篇文献后，根据全文删除 139 篇。文献排除标准包括：(1)文献为专利、会议摘要；(2)纯算法/技术改进类研究，动物研究等与人机交互中的交互自然性无关的研究 (3)文献报告的数据不完整。最终得到 48 篇核心文献。

2.2.3 访谈

采用半结构化的深度访谈，每个人访谈时间为 30–60 分钟。邀请 6 名交互设计和工程心理学专家和 2 名资深产品经理(5 位男性，3 位女性)，从事用户体验和人机交互领域多年，能够充分表达对自然交互和交互体验的看法。访谈主要询问访谈对象对交互自然性的了解程度和定义方式，例如“请说说对人机交互自然性的定义、概念，对交互自然性的理解，以及最早在什么时候听过呢？”；并将从字典和文献回顾中已经形成的条目仔细审阅，将不易理解、产生歧义或意思相近的条目进行修改、合并或删除，并对措辞进行了评级和优化。

2.2 结果

表 1 质性研究得到的交互自然性条目

方法	条目及描述	来源	访谈提及频率
字典检索	**符合预期:** 这个系统的使用方式与期望一致。	Naturally：来自牛津高阶英语词典（第四版)，现代汉语词典（第七版) Natural：来自维基百科	50%
文献总结	**人性化:** 与该系统的交互像与人交互一样自然。	Abowd & Mynatt, 2000; Nielsen, 1994	50%
	愉悦感: 当我使用这个系统的时候感觉心情愉快。	Brooke, 1996; Lewis, 1992; Norman & Nielsen, 2010	25%
	情景适宜性: 该系统能根据当前情景做出适宜的反应。	Biever et al., 2020; Liljamo et al., 2018	25%
	流畅性: 用户以自己的方式进行操作而不会被打断，感受到操作的流畅性	Lewis, 1992; Norman & Nielsen, 2010	50%
字典 & 文献总结	**普适性:** 任何人（包括儿童）都能自如操作这套系统	Naturally, Natural：来自维基百科，牛津高阶英语词典(第四版); Brooke, 1996; Lewis, 1992; Norman & Nielsen, 2010	62.5%
	自然的: 使用车载系统的整体过程感到很顺手而不突兀。	Nature, Naturally, Natural：来自维基百科，韦氏词典（第三版），牛津高阶英语词典(第四版)；Abowd & Mynatt, 2000	100%
	易学性: 很容易学会使用系统的各种功能，无需求助他人。	Naturally：来自牛津高阶英语词典（第四版); Brooke, 1996; Lewis, 1992; Norman & Nielsen, 2010; Roupe et al., 2014	100%
	合理性: 该系统的使用方式符合正常的逻辑。	Natural：来自维基百科，牛津高阶英语词典(第四版); Abowd & Mynatt, 2000; Nielsen, 1994	87.5%

3 种来源的资料整理结果如下：第一，字典释义检索共计收集原始条目 45 条，其中现代汉语词典收集了 6 条，英文词典收集了 39 条。由两名工程心理学专家进行重复词义、不符合交互自然主题的释义进行删除和合并，共保留条目 16 条，删除率为 64.4%。第二，文献回顾与总结共计收集原始条目 62 条。同样由 2 名专家讨论表述不清或容易歧义的条目进

行删减。共保留条目 45 条。第三，访谈中由专家提及的交互自然性定义已经全部包括在字典和文献检索得到的条目中。专家审阅和对现有的条目进行措辞优化后，最终精炼为 9 个条目(如表 1 所示)，删除率为 47.5%，合并的原则是通过发现和建立概念类属之间的相互关系，并进行不断的比较，将近似的描述链接在一起。评分者内部信度的肯德尔和谐系数均大于 0.90。

3 研究 2：交互自然性量表结构的初步确定和信效度分析

3.1 研究目的

在第一批网络招募的样本中构建交互自然性量表结构并初步验证其有效性。

3.2 研究对象

在网络招募智能网联汽车车主 (2016 年及之后购买了 L2 及以上水平的智能网联汽车的用户) 进行问卷调查，共发放在线问卷 413 份，排除了重复的 IP 地址和作答时间过长的被试 (作答时长 M =1506.84 s, SD = 991.90 s, 删除 3 个标准差以外的被试，即> $M + 3SD = 4483$ s)保留有效问卷 353 份，问卷有效率为 85.47%。被试年龄范围在 21～65 岁之间 (M=32.75, SD=5.47)，50.7%为男性，教育程度以本科和硕士为主，驾驶总里程主要集中在 2～10 万公里。

3.3 研究方法

3.3.1 研究工具

1) 交互自然性量表：使用研究 1 得到的 9 个条目，均为 5 点李克特量表评分（1：很不好～5：很好），评分越高代表被试认为使用的产品在这个条目上完成得更好。

2) 传统可用性量表：使用 7 点李克特评分（1：很不同意～7：很同意）可用性问卷作为校标变量的测量。评分越高代表被试认为产品在这个条目上完成得更好。使用了 3 个条目测量个体使用智能网联汽车车机基本功能的可用、好用、易用的程度 (Visser et al., 2012; Luo et al., 2018; Pak et al., 2012)。包括了以往研究提到可用性最常使用的三个维度，即“用户能否让产品工作”的可用程度，“用户使用产品的流畅和不容易出错”的好用程度，以及“用户学习使用产品时间少，容易上手”的易用程度。如“操纵这辆车的方向盘、刹车及油门能感到流畅自如的程度” ($\alpha = 0.82$)。

3) 关键消费行为量表：使用 7 点李克特评分（1：很不同意～7：很同意）关键消费行为问卷作为校标变量的测量，该量表由使用意愿和满意度两个维度共 9 个条目组成。满意度通过三个形容词等级程度评定来测量个体对智能网联汽车驾驶体验的满意程度 (Pyrialakou et al., 2020)，例如“极少满足了我的需要–极大满足了我的需要” ($\alpha = 0.96$)。使用意愿通过调整之前的量表使用 6 个条目来测量个体驾驶智能网联汽车的意愿程度 (Moons & De, 2015)，例如“如果不使用该汽车，我会感到不舒服” ($\alpha = 0.90$)。

3.3.2 程序

在所有被试签署知情同意书后，他们首先会阅读一段调研介绍，包括智能网联汽车的定义，即智能网联汽车可以根据环境灵活调整自己的行动，甚至遵循道路的相关规则。在大多数情况下，它不需要驾驶员控制，但仍然需要人类驾驶员在适当的时间密切监视和接管控制。车载设备通过无线通信技术，有效利用车辆的所有动态信息，为车辆运行提供各种功能和服务(National Highway Traffic Safety Administration, 2016; SAE, 2016)和调研的目的，即被试需要表达他们对智能网联汽车的态度。在确认被试都理解智能网联汽车，并购买了智能网联汽车以后，被试完成条目可理解性评价、交互自然性量表、其他校标关联效度的测量和人口统计学问题。

3.3.3 统计处理

采用 SPSS 25.0、Jamovi 1.2.27 对数据进行处理。

3.3.4 共同方法偏差检验

采用探索性因子分析法对可能存在的共同方法偏差进行检验(Podsakoff et al., 2003)。整合各问卷所有项目进行探索性因素分析，析出的第一个公因子解释率为 33.02%，小于 40%。因此，本研究数据不存在严重的共同方法偏差。

3.4 研究结果

3.4.1 条目可理解性检验

所有被试对使用的交互自然性量表、关键消费行为量表和传统可用性量表的条目均进行“理解”和“不理解”的评价。结果发现，所有被试都理解所有条目的含义及内容。结合专家意见，认为可以进行大样本调查。

3.4.2 项目分析

根据项目分析程序，按照 27%分位数分成高低两组，经过条目均值 t 检验，由研究 1 形成的 9 个条目的 *CR* 值均在 0.01 的统计水平上显著，说明条目均具有良好的鉴别水平，都予以保留。

3.4.3 因子分析结果

把研究 1 得到的 9 个条目进行探索性因子分析（n = 353），首先进行 KMO 和巴特利特球性检验，结果显示 KMO 值为 0.85，高于经验标准 0.80，表明变量间的共同因素较多。巴特利特球形检验$\chi^2 = 482$ ($df = 36$, $p < 0.001$)，表明适合做因子分析。

使用主成分分析来进行因子抽取。在确定因子个数时，不同于常用的因子特征值大于 1 和碎石图检验的标准，采用平行分析来决定因子保留数。前者特征根小于 1 对变量的数目比较敏感而显得不稳定，碎石图在曲线平滑或具有多个拐点难以决定且不够客观(Ledesma & Valero, 2007)。后者是基于数理基础得出的结论，即通过比较真实数据的两条特征值曲线与随机矩阵的交点来确定提取因子的绝对最大个数 (Franklin et al., 1995)。相较而言，平行分析的标准更加严格(Crawford et al., 2010; Hayton et al., 2004)。通过使用平行分析和正交旋转，

得到了两个因子（载荷如表 2 所示）。双因子模型解释了总方差的 32.1%，不存在明显的跨因子载荷的条目。6 个测量易学与流畅的成分聚合在一起，而其他三个项目是测量跨情景适宜性的因子。因此，将这两个因子分别命名为通达舒畅和随景应人。

表 2 交互自然性条目的结构

条目	因子 1：通达舒畅		因子 2：随景应人
1. 流畅的	0.68		
2. 自然的	0.61		
3. 可学习的	0.45		
4. 愉悦感	0.43		
5. 合理性	0.42		
6. 符合预期	0.41		
7. 普适性			0.58
8. 情景适宜性			0.45
9. 人性化			0.42
方差解释百分比	20.0		12.0
累积方差解释百分比		32.1	

注：负载小于 0.3 都未显示

3.4.4 信度检验

对自编问卷进行信度分析，通达舒畅与随景应人的一致性 α 系数分别为 0.90 和 0.87，总量表的分半信度为 0.74，反映量表信度良好。

3.4.5 效度检验

校标关联效度。将得到的两因子进行相关分析，两因子间的相关性($r = 0.19, p < 0.001$)较低，表明两因子独立，两者之间的关联性较弱，说明存在不同的组成部分，也可能意味着有不同的影响因素。然后将得到的两因子、量表总分与购后和交互体验因素进行相关分析，结果如表 3 所示。可以看到，所有变量均与得到的两因子显著相关($p < 0.01$)，说明交互自然性量表的校标效度良好。

表 3 相关分析：交互自然性条目的校标关联效度

校标变量	*M* (*SD*)	因子 1：通达舒畅	因子 2：随景应人	量表总分
1. 可用性	4.34 (.49)	0.44**	0.13*	0.25**
2. 使用意愿	5.64 (.76)	0.35**	0.13*	0.20**
3. 满意度	5.54 (.66)	0.39**	0.25**	0.31**

注：* $p < 0.05$. ** $p < 0.01$. *** $p < 0.001$.

区分效度。根据 Wang 等人 (2005)的建议，计算每个维度的方差提取量 AVE 值是否大于该维度与其它维度的相关方差，如果 AVE 值大于两维度间的相关系数平方，则表示这两个维度具有较好的区分效度。我们利用平均萃取变异量分别对 2 个变量的区分效度进行检验。两维度的 AVE 值分别为 0.68 和 0.63，均高于 0.5 的临界值，均大于两个构建间相关系数的平方($\phi = 0.74$， $\phi^2 = 0.55$)，表明具有良好的区分效度。

预测效度。为了探究交互自然性量表的预测效度，以及交互自然性与传统的可用性标准

是否有本质上的区别，交互自然性是否能解释可用性无法包括的额外的差异，进行了层次回归分析。首先，将人口统计学变量和可用性作为控制变量，第一层纳入需要控制的人口统计学变量，第二层纳入可用性，第三层纳入两个交互自然性因子。

表 4 层次回归分析检验两因子结构的独特作用

	总体满意度			使用意愿		
	模型 1	模型 2	模型 3	模型 1	模型 2	模型 3
一、人口统计学变量						
年龄	0.00	–0.01	–0.01	–0.04	–0.06	–0.06
性别	–0.01	–0.03	–0.04	0.02	–0.01	–0.01
教育水平	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.01
家庭年收入	0.11	0.11	0.11	0.01	0.02	0.02
驾驶总里程	0.00	0.01	0.01	0.15	0.15	0.15
二、可用性						
可用性		0.29^{***}	0.22^{***}		0.37^{**}	0.28^{***}
三、交互自然性						
通达舒畅			0.14^{*}			0.16^{**}
随景应人			0.08			0.09
ΔR^2	0.01	0.08	0.03	0.02	0.13	0.04
F	0.91	28.33^{***}	5.28^{**}	1.55	49.94^{***}	7.43^{**}

注：$^{*}p < 0.05$. $^{**}p < 0.01$. $^{***}p < 0.001$.

结果显示(表 4)，在控制人口学变量和传统可用性指标后，交互自然性对满意度和使用意愿两个模型有显著的预测作用。其中，通达舒畅对满意度(置信区间为[0.02, 0.36])和使用意愿(置信区间为[0.07, 0.45])模型预测良好。可能的解释是，当用户在使用过程和回忆整个产品的表现时，流畅和愉悦的体验是更关键的影响因素。

4 研究 3：交互自然性量表结构的验证和信效度分析

4.1 研究目的

在新的样本中进一步验证交互自然性量表结构的有效性和区分效度。增加了忠诚度和推荐意愿两个关键消费行为的变量。购后的推荐与顾客忠诚度密切相关。当一个产品符合预期(即价值、效率、经济、安全 vs. 潜在的问题、风险或约束)，用户更有可能再次购买和推荐该产品(Black et al., 2015; Grandhi et al., 2011; Rajendran & Jayakrishnan, 2018)。在新的样本中增加更多的变量进行效度分析和回归预测，不仅能够验证交互自然性量表在跨样本中的稳定表现，还能在更广阔的消费行为的视域中证明交互自然性量表的独特作用。

4.2 研究对象

在网络招募智能网联汽车车主进行问卷调查，共发放在线问卷 428 份，保留有效问卷 349 份，问卷有效率为 81.5%。独立样本 t 检验显示，研究 2 和研究 3 的样本在性别、年龄、教育程度、驾驶总里程数等人口变量上没有显著差异。

4.3 研究方法

4.3.1 研究工具

1) 交互自然性量表：同研究 1，通达舒畅 α = 0.91 和随景应人 α = 0.90。
2) 传统可用性量表：同研究 1，α = 0.83。
3) 关键消费行为量表：除了研究 2 用到的 2 个因素(使用意愿 α = 0.92，满意度 α = 0.98)，增加了 7 点评分的**忠诚度**(1：很不同意～7：很同意) 测量个体对购买的智能网联汽车产品或品牌产生的信任程度和继续购买的可能性 (Moons & De, 2015)，共包括 6 个条目，例如"我经常鼓动其他人也购买这个品牌的车"，α = 0.93；和 11 点评分的**推荐意愿** (0：完全没有可能推荐～10：极有可能推荐) 来测量某个客户将会向其他人推荐某个企业或服务可能性的指数 (Grisaffe, 2007)，使用 1 个条目进行测量，即"根据你的体验，以后你把这辆汽车推荐给朋友或同事的可能性有多大？"，来作为校标测量。
4) 智能网联汽车车机功能：包括媒体播放、导航系统、语音交互、倒车雷达、定速巡航、自动泊车、车道保持、自动跟车 8 个功能。均为 7 点李克特评分（1：很不满意～7：很满意）。评分越高代表被试认为产品在这个功能上完成得更好。

4.3.2 程序

同研究 2。

4.4 研究结果

4.4.1 因子分析

使用新的样本对所得到的交互自然性结构进行验证性因子分析。结果表明，双因子结构（$\chi^2 = 35.3$, $df = 27$, $CFI = 0.98$, $TLI = 0.98$, $RMSEA = 0.03$, $SRMR = 0.04$, $AIC = 7151$, $BIC = 7253$）比单因子结构（$\chi^2 = 46.8$, $df = 28$, $CFI = 0.95$, $TLI = 0.94$, $RMSEA = 0.05$, $SRMR= 0.03$, $AIC = 7042$, $BIC = 7047$）的拟合指标更好（$\triangle\chi^2 = 11.5$, $\triangle df = 1$, $p < 0.001$)，与研究二的结果一致，表明所得的因子结构是合理有效的。

4.4.2 信度检验

对自编问卷再次进行信度分析，通达舒畅与随景应人的一致性 α 系数分别为 0.91 和 0.90，分半信度均在 0.7 以上，反映量表信度良好。

4.4.3 效度检验

校标关联效度。将两因子及量表总分与购后和交互体验因素进行相关分析，结果如表 5 所示。可以看到，所有变量均与得到的两因子显著相关（$p< 0.01$)，说明交互自然性量表的校标效度良好。

表 5 相关分析：交互自然性条目的校标关联效度

	校标变量	M (SD)	因子 1：通达舒畅	因子 2：随景应人	量表总分
1.	可用性	4.12 (.60)	0.54**	0.29**	0.44**
2.	使用意愿	5.64 (.76)	0.40**	0.23**	0.24**
3.	推荐意愿	5.51 (.72)	0.40**	0.29**	0.36**

4.	忠诚感	5.26 (1.04)	0.45**	0.44**	0.44**
5.	满意度	5.54 (.66)	0.45**	.26**	0.40**

注：* $p < 0.05$. ** $p < 0.01$. *** $p < 0.001$.

预测效度。在新的样本中继续探究交互自然性的预测效度以及交互自然性与可用性是否有区别 (表 6)，进行了层次回归分析。首先第一层纳入需要控制的人口统计学变量，第二层纳入可用性和易用性，第三层纳入两个自然性因子。

结果与研究二一致，在加入交互自然性的两个因子后，可用性在模型中的作用显著减弱。在预测满意度、使用意愿、净推荐值、感知忠诚度和感知支持感时，只有交互自然性的两个因子被纳入模型。在解释感知可控性时，通达舒畅和可用性被纳入模型，随景应人被排除在模型之外。

结果显示 (表 6)，在控制人口学变量和传统可用性指标后，交互自然性对满意度和使用意愿两个模型有显著的预测作用。其中，通达舒畅对满意度(置信区间为[0.34, 0.67])和使用意愿(置信区间为[0.21, 0.55])模型预测良好，而随景应人对这两个变量预测作用不显著，与研究 2 得到的结果一致。另一方面，交互自然性的两个维度都对推荐意愿(置信区间为[0.45, 1.22], [0.01, 0.49])和忠诚感 (置信区间为[0.47, 0.94], [0.23, 0.52])有显著预测作用。

表 6 层次回归分析检验两因子结构的独特作用

	总体满意度			使用意愿			忠诚感			推荐意愿		
	模型 1	模型 2	模型 3	模型 1	模型 2	模型 3	模型 1	模型 2	模型 3	模型 1	模型 2	模型 3
一、人口统计学变量												
年龄	0.05	0.04	0.04	–0.03	–0.04	–0.05	–0.05	–0.06	–0.08	–0.01	–0.02	–0.02
性别	0.07	0.05	0.04	0.05	0.02	0.02	0.04	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01
教育水平	0.08	0.07	0.05	0.07	0.05	0.04	0.03	0.01	–0.01	0.07	0.05	0.03
年收入	0.09	0.09	0.07	0.01	0.02	0.00	0.07	0.07	0.04	0.08	0.09	0.07
驾驶总里程	–0.04	–0.03	–0.01	0.07	0.09	0.10	0.03	0.04	0.06	–0.02	0.00	0.01
二、可用性												
可用性		.30***	0.08		.35***	0.19**		.32***	.06		.29***	0.11
三、交互自然性												
通达舒畅			0.37***			0.27***			0.34***			0.27***
随景应人			0.05			0.04			0.26***			0.12*
R^2	0.03	0.09	0.03	0.02	0.12	0.06	0.01	0.10	0.20	0.02	0.09	0.09

F	1.73	33.52^{***}	24.07^{***}	1.12	48.49^{***}	12.74^{***}	0.85	39.85^{***}	50.35^{***}	1.09	32.24^{***}	17.96^{***}

注：$^{*}p < 0.05$. $^{**}p < 0.01$. $^{***}p < 0.001$

4.4.4 车机功能满意度与交互自然性的关系

对得到的两个因子分别与车机功能满意度进行相关分析，结果发现(表 7)通达舒畅与常见的基本功能（如媒体播放和倒车雷达）的体验更相关，而随景应人这一维度与带有智能特征的功能（如语音交互，自动泊车等）更相关。这也进一步说明，两个因子在不同功能上有着独特的作用。

表 7 交互自然性与智能网联车机功能满意度的相关分析

功能	因子 1：通达舒畅	因子 2：随景应人
媒体播放	0.39^{**}	0.22^{**}
导航系统	0.28^{**}	0.38^{**}
语音交互	0.35^{**}	0.37^{**}
倒车雷达	0.41^{*}	0.13^{*}
定速巡航	0.28^{*}	0.26^{**}
自动跟车	0.34^{**}	0.43^{**}
车道保持	0.40^{**}	0.42^{**}
自动泊车	0.27^{**}	0.39^{**}

注：$^{*}p < 0.05$. $^{**}p < 0.01$

5 讨论

本研究构建了交互自然性体验的概念框架并进行系统的验证，同时构建了一个交互自然性量表，并验证了其结构效度和标准相关效度。为此，开展了包含定性和定量的三项研究，研究结果提供了一致的证据，即包括通达舒畅和随景应人的双因素结构，最好地捕捉了交互自然性体验的本质。相关分析表明，这两个成分与所有其他购后和用户体验的变量之间存在显著的相关性($p < 0.01$)。进一步的层次回归分析证明了交互自然性能更好地解释和预测购后和体验变量。

本研究的意义主要体现在三个方面：第一，依据系统的定性、定量研究确定了交互自然性的心理结构，首先，基于词典、文献检索和专家访谈等质性研究以形成的交互自然性体验的条目集，弥补了以往研究尚未全面、扎根地从语义和概念网络对交互自然性这一构念进行定性分析的研究空白 Agarwal et al., 2013; Bailey et al., 2018; Bassano et al., 2020; Falcao et al., 2015; Kharoub et al., 2019; Vallejo et al., 2016; Villaroman et al., 2011)。我们的研究表明，双因素方法更适合捕捉交互自然性结构的本质。通过考察可能的结果变量如购买意愿，忠诚度和推荐意愿，我们发现这两个组成部分都与这些标准有显著的关系，显示量表具有良好的校标效度。此外，还发现了一些证据，表明双因素结构可能有助于解释可用性和易用性之外的变异，具有良好的区分效度和预测效度。

第二，系统验证了在智能网联汽车的范围内影响交互自然性的其他相关变量的影响路径。

交互自然性的两个维度与所有的购后、用户体验变量均存在显著的相关。同时也验证了交互自然性的双因子与不同的车机功能的相关性差异。首先，可用性与两个维度的交互自然性存在显著相关。这从定量的数据验证了 Norman (2010)的观点，自然的产品一定可用。好的自然性体验需要保证产品能使用，关注产品是否容易使用，从而达到降低用户的认知负荷、缩短学习路径(Lewis, 1992; Norman & Nielsen, 2010)和优化用户体验的好用目的。其次，在购后因素中，忠诚感与二因素的交互自然性相关关系最强。这一发现表明，良好的自然性体验能够加强用户对产品或品牌的反复消费的可能性，进而确立忠诚度，这一发现和品牌忠诚度的概念内涵一致(Wernerfelt, 1991)。可以推论，在产品开发和设计时关注交互自然性的体验有助于更积极的消费和购后行为产生。最后，通达舒畅与车机的基本功能更相关，而随景应人与车机的智能交互功能相关关系更强。这一发现也与在分析预测效度中得到的相关结果相互印证。可能的解释是，当用户在决定自己是否喜欢或者使用某个产品时，更关注功能流畅好用与否，与预期是否相符合，这些在某种层面上更多地体现为工具性动机的满足(Khalid et al., 2012)。但当用户决定忠诚于某个品牌或者将产品推荐给他人时，不仅看中产品对工具性的动机满足，还需要能满足某种情感性或象征性的动机(Helander et al., 2013; McDonagh & Lebbon, 2000)。随景应人这一维度，反映了交互产品能够理解用户的意图并提供人性化服务的程度，在目前的阶段，它可能更多地与科技感、智能感、人性化设计这些概念联系在一起(Hsiao, 2017)，从而给消费者带来了更多不同动机的满足。

第三，跨样本分析交互自然性相对于其他可用性指标的额外贡献。两个不同样本的层次回归分析结果显示，交互自然性两个维度可以区别于传统的可用性，易用性和好用性，稳定地解释和预测关键消费行为。这说明，交互自然性具有相对于其他可用性指标的额外贡献，再一次论证了自然的交互体验不等价于可用性的观点。研究二关注自然交互对用户使用过程和使用后自身对产品的满意度的影响。具体地，用户在自行使用产品时，流畅和愉悦的体验能让用户更愿意使用该产品，对产品的满意度打分更高，这与之前的研究一致(Atiyah et al., 2019; Kamide et al., 2012; Li & Yeh, 2010)。进一步，研究三不仅考虑个体的购后体验，还关注个体与其他重要他人的购后互动上。当用户想要将产品推荐给他人使用，甚至对该产品产生忠诚感时，不仅需要有通达舒畅的体验，理解用户的意图并提供人性化服务的随境应人的产品更胜一筹。前者满足的是用户的基本功能需求(Khalid et al., 2012)，属于产品的基本属性；后者更关注到了用户的情感需求(Helander et al., 2013)，以及对更智能化产品的偏好，属于产品的高级属性。这种自然的交互体验能让用户体验到更强的身份认同和价值体验，这也是产生忠诚感和推荐意愿的关键因素(Moons & De, 2015)。而新的智能技术带来的智能的、懂人所需的体验与用户产生满意感，甚至推荐给他人的意愿，也是至关重要的(Biever et al., 2020; Liljamo et al., 2018)。

本研究的局限性体现在以下几个方面。首先，交互自然性的测量不是基于具体的任务，而是采用消费行为的研究思路，更关注产品的整体特征以及人在认知上如何理解自然。这种

方式也对产品的具体功能和体验在交互自然性的改进上提供了一定的方法论，未来研究可以进一步细化功能和体验的探究。但目前该工具仍可以在产品开发初期和末期迭代时提供较为全面的方向性指导。之后的研究可以关注适应人的运动发展与学习过程的自然设计，用自然探索的方式开发适应运动技能发展的设计，可以为开发者提供更细致的交互模态设计准则。第二，问卷调查的结果与实际情况存在一定的差距，因为对条目的反应可能与实际情况不一致。在未来，可以考虑使用行为实验、真实产品测试或模拟器研究。第三，该量表仅在智能网联汽车这一个产品上进行了验证，虽然存在一定的推广限制，但在质性研究时并未采用具体产品的表述，而是广泛、全面的建立条目库。之后的进一步研究中将在智能手表，可编程机器人，智能音响和 VR 眼镜等智能产品中做进一步验证，以提高该工具跨产品的信效度。

6 结论

本研究系统地运用了心理测量学方法，探究了交互自然性的心理结构及其影响，并开发了一套测量智能产品交互自然性的工具。我们发现交互自然性包括通达舒畅和随景应人两个维度，它们在传统可用性指标以外，对消费者的关键体验和消费行为有显著的额外预测力。这两个结构稳定可区分，其测量工具未来可以用于多种自然人机交互研究，并对智能交互产品的设计和评估具有一定的指导意义。未来的研究可以针对更多类型的智能产品，进一步探索这两个维度的作用机制及产生原因。

致谢

感谢王党校教授，周荣刚教授，张宇博博士，魏翔博士，刘梦迪博士等专家为本研究概念梳理所提供的支持，感谢史元春教授和喻纯副教授在研究方向上提供的建议。

参考文献

Abowd, G. D., & Mynatt, E. D. (2000). Charting past, present, and future research in ubiquitous computing. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, *7*(1), 29–58.

Agarwal, R., Sampath, H. A., & Indurkhya, B. (2013). A usability study on natural interaction devices with ASD children. *International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction*, 447–453. Springer, Berlin, Heidelberg.

Almeida, L., Lopes, E., Yalçinkaya, B., Martins, R., Lopes, A., Menezes, P., & Pires, G. (2019). Towards natural interaction in immersive reality with a cyber-glove. *2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)*, 2653–2658.

Atiyah, A., Jusoh, S., & Alghanim, F. (2019, April). Evaluation of the naturalness of Chatbot Applications. *2019 IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology (JEEIT)*, 359–365.

Bailey, S. K., & Johnson, C. I. (2020). A human-centered approach to designing gestures for natural user interfaces. *International Conference on Human-Computer Interaction*, 3–18.

Bailey, S. K., Johnson, C. I., & Sims, V. K. (2018). Using natural gesture interactions leads to higher usability and presence in a computer lesson. *Congress of the International Ergonomics Association*, 663–671.

Bassano, C., Chessa, M., & Solari, F. (2020). A study on the role of feedback and interface modalities for natural interaction in virtual reality environments. *VISIGRAPP (2: HUCAPP)*, 154–161.

Biever, W., Angell, L., & Seaman, S. (2020). Automated driving system collisions: early lessons. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, *62*(2), 249–259. https://doi.org/10.1177/0018720819872034

Black, H. G., Vincent, L. H., & Skinner, S. J. (2015). Customers helping customers: payoffs for linking customers in service settings. In *Marketing Dynamism & Sustainability: Things Change, Things Stay the Same.* (pp. 179–179). Springer.

Brooke, J. (1996). SUS: a "quick and dirty'usability. *Usability Evaluation in Industry*, 189(194), 4-7.

Brunswicker, S., & Chesbrough, H. (2018). The adoption of open Innovation in large firms:

practices, measures, and risks A survey of large firms examines how firms approach open innovation strategically and manage knowledge flows at the project level. *Research-Technology Management*, *61*(1), 35–45.

Chuah, S. H.-W., Rauschnabel, P. A., Krey, N., Nguyen, B., Ramayah, T., & Lade, S. (2016). Wearable technologies: The role of usefulness and visibility in smartwatch adoption. *Computers in Human Behavior*, *65*, 276–284. https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.07.047

Crawford, A. V., Green, S. B., Levy, R., Lo, W.-J., Scott, L., Svetina, D., & Thompson, M. S. (2010). Evaluation of parallel analysis methods for determining the number of factors. *Educational and Psychological Measurement*, *70*(6), 885–901.

de Visser, E. J., Krueger, F., McKnight, P., Scheid, S., Smith, M., Chalk, S., & Parasuraman, R. (2012). The world is not enough: Trust in cognitive agents. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *56*(1), 263–267.

Falcao, C., Lemos, A. C., & Soares, M. (2015). Evaluation of natural user interface: A usability study based on the leap motion device. *Procedia Manufacturing*, *3*, 5490–5495.

Franklin, S. B., Gibson, D. J., Robertson, P. A., Pohlmann, J. T., & Fralish, J. S. (1995). Parallel analysis: A method for determining significant principal components. *Journal of Vegetation Science*, *6*(1), 99–106.

Grandhi, S. A., Joue, G., & Mittelberg, I. (2011). Understanding naturalness and intuitiveness in gesture production: Insights for touchless gestural interfaces. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 821–824.

Grisaffe, D. B. (2007). Questions about the ultimate question: Conceptual considerations in evaluating Reichheld's net promoter score (NPS). *Journal of Consumer Satisfaction, Dissatisfaction and Complaining Behavior*, *20*, 36.

Hayton, J. C., Allen, D. G., & Scarpello, V. (2004). Factor retention decisions in exploratory factor analysis: A tutorial on parallel analysis. *Organizational Research Methods*, *7*(2), 191–205.

Helander, M. G., Khalid, H. M., Lim, T. Y., Peng, H., & Yang, X. (2013). Emotional needs of car buyers and emotional intent of car designers. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, *14*(5), 455–474.

Hsiao, K.-L. (2017). What drives smartwatch adoption intention? Comparing Apple and non-Apple

watches. *Library Hi Tech*, *35*(1), 186–206. https://doi.org/10.1108/LHT-09-2016-0105

Jain, J., Lund, A., & Wixon, D. (2011). The future of natural user interfaces. In *CHI'11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (pp. 211–214).

Kamide, H., Mae, Y., Kawabe, K., Shigemi, S., Hirose, M., & Arai, T. (2012, March). New measurement of psychological safety for humanoid. *2012 7th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, 49–56.

Khalid, H. M., Opperud, A., Radha, J. K., Xu, Q., & Helander, M. G. (2012). Elicitation and analysis of affective needs in vehicle design. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, *13*(3), 318–334.

Kharoub, H., Lataifeh, M., & Ahmed, N. (2019). 3D user interface design and usability for immersive VR. *Applied Sciences*, *9*(22), 4861.

Kortum, P. T., & Bangor, A. (2013). Usability ratings for everyday products measured with the System Usability Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, *29*(2), 67–76.

Kuang, X., Zhao, F., Hao, H., & Liu, Z. (2019). Assessing the socioeconomic impacts of intelligent connected vehicles in China: A cost–benefit analysis. *Sustainability*, *11*(12), 3273.

Ledesma, R. D., & Valero-Mora, P. (2007). Determining the number of factors to retain in EFA: An easy-to-use computer program for carrying out parallel analysis. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, *12*(1), 2.

Lewis, J. R. (1992, October). Psychometric evaluation of the post-study system usability questionnaire: The PSSUQ. *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, *36*(16), 1259–1260.

Li, Y.-M., & Yeh, Y.-S. (2010). Increasing trust in mobile commerce through design aesthetics. *Computers in Human Behavior*, *26*(4), 673–684.

Liljamo, T., Liimatainen, H., & Pöllänen, M. (2018). Attitudes and concerns on automated vehicles. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *59*, 24–44. https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.08.010

Luo, Z., Chen, S., Management, S. O., & University, J. (2018). A literature review of social support in marketing and prospects. *Foreign Economics & Management*, 40(01), 18-32.

McDonagh, D., & Lebbon, C. (2000). The emotional domain in product design. *Design Journal, The*, *3*(1), 31–43.

Montoro, L., Useche, S. A., Alonso, F., Lijarcio, I., Bosó-Seguí, P., & Martí-Belda, A. (2019). Perceived safety and attributed value as predictors of the intention to use autonomous vehicles: A national study with Spanish drivers. *Safety Science*, *120*, 865–876. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.07.041

Moons, I., & De Pelsmacker, P. (2015). An extended decomposed theory of planned behaviour to predict the usage intention of the electric car: A multi-group comparison. *Sustainability*, *7*(5), 6212–6245.

National Highway Traffic Safety Administration. (2016). *Federal automated vehicles policy: Accelerating the next revolution in roadway safety*. US Department of Transportation.

Nielsen, J. (1994). *Usability engineering*. Morgan Kaufmann.

Norman, D. A. (2010). Natural user interfaces are not natural. *Interactions*, *17*(3), 6–10.

Norman, D. A., & Nielsen, J. (2010). Gestural interfaces: A step backward in usability. *Interactions*, *17*(5), 46–49.

Pak, R., Fink, N., Price, M., Bass, B., & Sturre, L. (2012). Decision support aids with anthropomorphic characteristics influence trust and performance in younger and older adults. *Ergonomics*, *55*(9), 1059–1072.

Podsakoff, P. M., MacKenzie, S. B., Lee, J.-Y., & Podsakoff, N. P. (2003). Common method biases in behavioral research: A critical review of the literature and recommended remedies. *Journal of Applied Psychology*, *88*(5), 879.

Pütz, F., Murphy, F., & Mullins, M. (2019). Driving to a future without accidents? Connected automated vehicles' impact on accident frequency and motor insurance risk. *Environment Systems and Decisions*, *39*(4), 383–395.

Pyrialakou, V. D., Gkartzonikas, C., Gatlin, J. D., & Gkritza, K. (2020). Perceptions of safety on a shared road: Driving, cycling, or walking near an autonomous vehicle. *Journal of Safety Research*, *72*, 249–258. https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.12.017

Rajendran, K., & Jayakrishnan, J. (2018). Consumer Perceived Risk in Car Purchase. *Journal on Management Studies*, *4*(2).

Roupe, M., Bosch-Sijtsema, P., & Johansson, M. (2014). Interactive navigation interface for Virtual Reality using the human body. *Computers Environment & Urban Systems*, *43*(jan.), 42–50.

SAE. (2016). Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles (Surface Vehicle Recommended Practice: Superseding J3016 Jan 2014). *SAE International,(J3016)*.

Shi Y. (2018). Natural human-computer interaction. *Communications of the CCF, 14*(5), 8–10. [史元春. (2018). 自然人机交互. 中国计算机学会通讯, *14*(5), 8–10.]

Urakami, J., Sutthithatip, S., & Moore, B. A. (2020). The effect of naturalness of voice and empathic responses on enjoyment, attitudes and motivation for interacting with a voice user interface. *International Conference on Human-Computer Interaction*, 244–259.

Vallejo, V., Tarnanas, I., Yamaguchi, T., Tsukagoshi, T., Yasuda, R., Müri, R., Mosimann, U. P., & Nef, T. (2016). Usability assessment of natural user interfaces during serious games: Adjustments for dementia intervention. *J Pain Management*, *9*, 333–339.

Verberne, F. M., Ham, J., & Midden, C. J. (2012). Trust in smart systems: Sharing driving goals and giving information to increase trustworthiness and acceptability of smart systems in cars. *Human Factors*, *54*(5), 799–810.

Villaroman, N., Rowe, D., & Swan, B. (2011). Teaching natural user interaction using OpenNI and the Microsoft Kinect sensor. *Proceedings of the 2011 Conference on Information Technology Education*, 227–232.

Wang, H., Law, K. S., Hackett, R. D., Wang, D., & Chen, Z. X. (2005). Leader-member exchange as a mediator of the relationship between transformational leadership and followers' performance and organizational citizenship behavior. *Academy of Management Journal*, *48*(3), 420–432.

Wernerfelt, B. (1991). Brand loyalty and market equilibrium. *Marketing Science*, *10*(3), 229–245.

Wigdor, D., & Wixon, D. (2011). *Brave NUI world: Designing natural user interfaces for touch and gesture*. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 36(6), 29-30.

Xu, X. (2019). Value Creation for Intelligent Connected Vehicles: An Industry Value-Chain Perspective. In *Digital Business Models* (pp. 57–79). Springer.

Zhang, J., Zhang, L. (2018). Cognitive mechanism and mental model of natural interaction. *Communications of the CCF*, 14(5), 30–35. [张警吁, & 张亮. (2018). 自然交互的认知机理与心理模型. 中国计算机学会通讯, *14*(5), 30–35.]

Zhou, B., Hu, H., & Dai, L. (2020). Assessment of the development of time-sharing electric vehicles in Shanghai and subsidy implications: A system dynamics approach. *Sustainability*, *12*(1), 345.

Zhou, T. (2011). The effect of initial trust on user adoption of mobile payment. *Information Development*, *27*(4), 290–300.

The psychological structure and influence of interactive naturalness

CAO Jianqin[1,2], ZHANG Jingyu[1,2*], ZHANG Liang[1,2], WANG Xiaoyu[1,2]

([1] *Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, 100101*)([2] *Department of Psychology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, China，100049*)

Abstract

This paper investigated the structure and function of interactive naturalness through three studies. After command-line interaction and graphic interaction, natural interactions have increased and become mainstream. In measuring interactive experience, the traditional usability standard is not enough to measure the usability and naturality of product interaction. The possible reason is that natural interaction is no longer limited to the product's features but is more concerned with the human experience (the perceived naturalness) or natural experience. A direct, reliable measurement tool is urgently needed to evaluate the natural experience. Most studies used traditional usability dimensions such as visibility and ease of use to simply measure naturalness. But if naturalness simply equals usability, then many traits beyond product usability cannot be measured. Some studies directly measured naturalness with a single item or synonyms of naturalness, but the reliability of these measurements is not enough. This paper aimed to develop and verify a conceptually solid and quantitatively validated scale to measure the naturalness of interaction.

In Study 1, a comprehensive item set related to the concept of natural interaction was established by using qualitative methods including dictionary retrieval, literature review, and expert interviews. In Study 2, participants (n = 353) were recruited to evaluate the experience of different intelligent connected vehicles. In addition to the interactive naturalness scale, several key consumer behaviors and traditional usability criteria, including drive intention, satisfaction, and usability, were also collected. In Study 3, new samples (n = 349) and more criterion-related variables (two key consumption behaviors were added, namely perceived loyalty and recommendation intention) were used to further verify the validity and reliability of the developed measurement tool. We used SPSS 25.0 and Jamovi 1.2.27 to analyze the data.

According to Study 1, the naturalness of the interactive experience scale of 9 items was developed based on the qualitative research. In Study 2, the exploratory factor analysis found that the two–dimensional model (six items for joyful fluency and three items for universal awareness) best suited the data. Confirmatory factor analysis verified the stability of the two–factor model. Correlation analysis and hierarchical regression analysis suggested that these two components had good criterion-related validity and joyful fluency played a crucial role in predicting satisfaction and drive intention. In Study 3, a new sample (n = 349) was used to validate the validity of the scale further. And the validity of the scale was further verified in Study 3. The criterion-related variables used in Study 2 also obtained the same correlation and regression results in Study 3. Two factors of interactive naturalness had a significant predictive effect on the newly included variables, namely recommendation intention and perceived loyalty. In addition, joyful fluency was more related to basic vehicle functions, while universal awareness was more related to advanced intelligent

interaction functions.

This study explored the structure and function of interactive naturalness. A psychometrically sound tool was obtained to measure the interactive naturalness experience of intelligent products in two dimensions: joyful fluency and universal awareness. We found that interactive naturalness is strongly linked to key experiential and post-purchase dimensions and has an additional contribution to predicting these variables that traditional usability dimensions cannot include. This finding was also supported by the difference of correlation between two factors in different vehicle functions. These results indicate that the scale developed in this study can measure the natural interaction experience of intelligent products reliably and effectively. This tool can be used in future human-computer interaction research and guidance for interface and product design.

【Key words】Interactive naturalness, Intelligent connected vehicles, Psychological structure, Usability

附录

附录 1：交互自然性量表

您觉得您所拥有的这款汽车，在以下这些因素上做得如何？请从 5 种选择中选出最符合您的答案。“很不好”1 分，“较不好”2 分，“一般”3 分，“较好”4 分，“很好”5 分。

1. 自然的：使用车载系统的整体过程感到很顺手而不突兀。
2. 符合预期：该车载系统的整体使用方式与你的期望一致。
3. 易学性：很容易学会使用系统的各种功能，无需求助他人。
4. 合理性：该车载系统的使用方式符合正常逻辑。
5. 普适性：任何人（包括儿童）都能自如操作这套车载系统。
6. 愉快感：当我使用这个车载系统的时候感觉心情愉快。
7. 类人性：与该车载系统的交互像与人交互一样自然。
8. 流畅性：用户以自己的方式进行操作而不会被打断，感受到操作的流畅性。
9. 情景适宜性：该车载系统能根据当前情景做出适宜的反应。

附录 2：传统可用性量表

您觉得您所拥有的这款汽车，在以下这些因素上做得如何？请从 5 种选择中选出最符合您的答案。“很不好”1 分，“较不好”2 分，“一般”3 分，“较好”4 分，“很好”5 分。

1. 可用性：能让这辆车保持正常工作和随时停止工作。
2. 好用性；操控容易上手，学习时间少，不容易发生操作错误。
3. 易用性：操纵这辆车的方向盘、刹车及油门能感到流畅自如的程度。

附录 3：关键消费行为量表

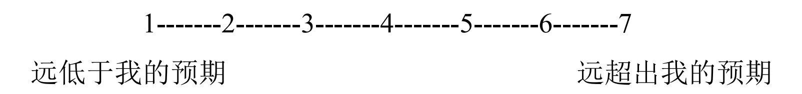
1. 对于驾驶这辆车，我的总体评价是：（研究 2 和研究 3 都使用所有条目）

1-------2-------3-------4-------5-------6-------7

非常不满意　　　　　　　　　　　　非常满意

1-------2-------3-------4-------5-------6-------7

极少满足了我的需要　　　　　　　　极大满足了我的需要



2. 根据你的体验，以后你把这辆汽车推荐给朋友或同事的可能性有多大？（仅研究 3 使用）

0------1------2------3------4------5------6------7------8------9------10

完全没有可能推荐　　　　　　　　　　　　　　　　极有可能推荐

3. 您觉得您所拥有的这款汽车，在以下这些因素上做得如何？请从 5 种选择中选出最符合您的答案。“很不好”1 分，“较不好”2 分，“有点”3 分，“不能确定”4 分，“有点好”5 分，“比较好”6 分，“很好”7 分。（研究 2 使用前六条，研究 3 使用所有条目）
   1) 如果不使用该汽车，我会感到不舒服。
   2) 使用该汽车已经变成了我的习惯。
   3) 我经常使用该汽车。
   4) 我做各种事情都会开着这辆车去。
   5) 在各种路况和天气下我都经常驾驶这辆车。
   6) 我经常用这辆车搭载家人和朋友。
   7) 我经常给别人介绍这款车的优点。
   8) 我经常鼓动其他人也购买这个品牌的车。
   9) 我总是建议和我有相同需求的人购买这辆车。
   10) 我会在一些互联网留言板上发布有关这辆车的正面信息。
   11) 我打算继续购买这个品牌的汽车。
   12) 我打算更多的使用该品牌的产品。